



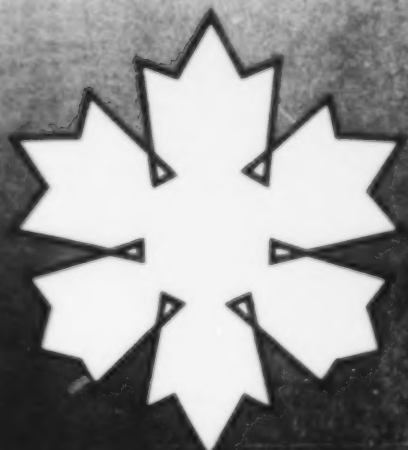
Environment
Canada

Environnement
Canada

Estimating Effects of Climatic Change on Agriculture in Saskatchewan, Canada

CCD 88-06

Canada



CLIMATE CHANGE DIGEST

- CCD 87-01 Canadian Climate Impacts Program
- CCD 87-02 Implications of Climatic Change for Agriculture in Ontario
- CCD 87-03 Implications of Climatic Change for Navigation and Power Generation in the Great Lakes
- CCD 87-04 Effects of a One Metre Rise in Mean Sea-Level at Saint John, New Brunswick and the Lower Reaches of the Saint John River
- CCD 88-01 The Implication of Climate Change for Agriculture in the Prairie Provinces
- CCD 88-02 Preliminary Study of the Possible Impacts of a One Metre Rise in Sea Level at Charlottetown, Prince Edward Island
- CCD 88-03 Implications of Climate Change for Downhill Skiing in Quebec
- CCD 88-04 Economic Perspectives on the Impact of Climate Variability and Change: A Summary Report
- CCD 88-05 Implications of Climatic Change for Tourism and Recreation in Ontario
- CCD 88-06 Estimating Effects of Climatic Change on Agriculture in Saskatchewan, Canada

ESTIMATING EFFECTS OF CLIMATIC CHANGE
ON AGRICULTURE IN SASKATCHEWAN, CANADA

by

G.D.V. Williams, R.A. Fautley, K.H. Jones,
R.B. Stewart, E.E. Wheaton

A Summary of the Canadian Case Study
published in
"The Impact of Climatic Variations on Agriculture.
Volume 1. Assessments in Cool Temperate and Cold Regions".
M.L. Parry, T.R. Carter, and N.T. Konijn (Eds) (1987)
Reidel, Dordrecht, The Netherlands

Prepared for

Climate Change Digest
Atmospheric Environment Service

Prepared by

R.B. Stewart, K.H. Jones, E.E. Wheaton and G.D.V. Williams

DISCLAIMER

This publication contains a summary of the results of a study coordinated by IIASA (International Institute for Applied Systems Analysis) with contributions by Environment Canada, Agriculture Canada and the Saskatchewan Research Council. The views and opinions expressed herein are those of the authors and do not necessarily state or reflect those of the Government of Canada or any agency thereof.

Single copies of this publication may be obtained, free of charge, by writing to the:

Climate Program Office
Canadian Climate Centre
4905 Dufferin Street
Downsview, Ontario
M3H 5T4
(416)739-4431

Copies of the complete report, "The Impact of Climatic Variability on Agriculture. Volume 1. Assessments in Cool Temperate and Cold Regions", may be purchased by writing to:

Dr. R.B. Stewart
Climate and Soil Section
Agriculture Development Branch
Sir John Carling Bldg.
Ottawa, Ontario
K1A 0C5

Published by Authority of the
Minister of the Environment

Minister of Supply and Services
Canada 1988

Catalogue No. En57-27/1988-06
ISBN 0-662-55938-X
ISSN 0835-3980

FOREWORD

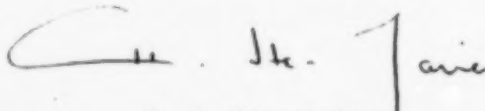
The composition of the earth's atmosphere is undergoing a major global change. Human activities, such as deforestation, the burning of fossil fuels and even agricultural practices have significantly increased the amount of carbon dioxide and other "greenhouse gases" in the atmosphere. There is now growing scientific evidence that increasing concentrations of these gases could result, over the next few decades, in a rise of global mean temperature which is greater than any in man's history (Villach Conference, Austria, October 1985). Studies indicate that warming in the range of 1.5 - 4.5°C could be expected; in Arctic regions it is likely to be even greater.

In the past few years, there has been an escalating international awareness of the dependence of various economic sectors on climatic fluctuations and on the implications of long-term climate change. Concerns have been expressed for the potential loss of coastal areas due to anticipated global sea level rises, destruction of the habitats of innumerable plant and animal species, and disruption of world agriculture, to name a few. At the same time, climate change offers the potential for significant economic opportunity. For Canada, this is likely to include an extension of the growing season and year-round shipping on the Great Lakes. The key element in successfully adapting to these changes will be our ability to mitigate the negative effects and to take advantage of the benefits.

In recognition of the impact of climate and climatic fluctuations on society, Canada established a Canadian Climate Program (CCP) in 1978 to integrate the efforts of various federal and provincial agencies as well as the universities and the private sector in the field of climatology. The Atmospheric Environment Service (AES) of Environment Canada was given responsibility as the lead agency for the program. One of the program's components has, since 1984, focussed on research studies to assess and identify the potential social and economic impacts of climate warming expected under a doubled carbon dioxide scenario. Most of these studies have been conducted under contract by Canadian universities.

While these and other studies over the last several years have clearly shown that increasing "greenhouse gas" concentrations have the potential for profound impacts on our physical environment, the results must still be treated as preliminary. There is general scientific agreement on the direction of long-term climate change, but uncertainty in the estimates of the magnitude and timing.

It is evident that additional studies are required in order to provide planning and policy information to all levels of government and private sector users. These would further serve to identify potential mitigative and adaptive strategies and be in keeping with Environment Canada's theme of "anticipate and prevent".



G. A. Sainte-Marie
Deputy Minister
Environment Canada

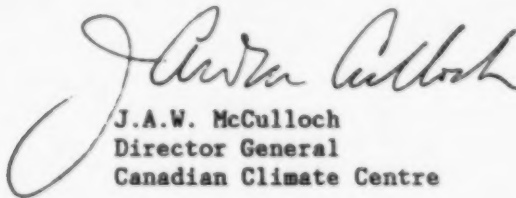


PREFACE

The Canadian Climate Centre (CCC) has funded a number of studies to investigate the potential impacts, on various sectors of the Canadian economy, of climate warming expected because of the increasing concentrations in the atmosphere of the "greenhouse gases". The equivalent of a doubling of the amount of CO₂ was the situation selected.

The first issue of the Climate Change Digest identified the major socio-economic impact studies undertaken since 1984. A list of earlier titles in the series appears on the inside front cover.

This issue presents the summary results of a study to determine the likely impacts of three scenarios of future climates. That study looks at the effects of variability and concludes that there are likely to be substantial adverse effects over any twenty-to-thirty year period under the new climate regime, largely due to a greater frequency and severity of droughts.



J.A.W. McCulloch
Director General
Canadian Climate Centre



1 STUDY HIGHLIGHTS

- This study is one of five case studies in cool temperate and cold regions considered in the IIASA/UNEP project to assess the impacts of climatic change and variability on food production.
- In an extreme drought year Saskatchewan can expect moisture resources so reduced that the wind erosion potential is doubled, spring wheat production is about 25% of normal and losses to the agricultural economy in 1980 dollars exceed \$1.8 billion and 8000 jobs with a further reduction in other sectors of the economy of \$1.6 billion and 17000 jobs.
- Occasional extreme 5 or 10 year periods in Saskatchewan can be expected over which biomass dry matter production is reduced by nearly half and spring wheat production by about one-fifth, average annual agricultural losses of about 2600 jobs and \$0.6 billion, and a reduction in the provincial GDP of more than \$0.5 billion and 5600 jobs.
- A shift to a longer term warm climate with precipitation increases, without major adaptive changes by agriculture, would reduce wheat yields by 16%, causing annual losses to agriculture of over \$160 million and 700 person-years. Wind erosion potential could be reduced, potential biomass productivity increased, but, droughts becoming more frequent and severe.
- A shift to a longer term warm climate without precipitation increases would cause all impacts to be generally adverse and more intense, particularly as a consequence of increased drought frequency and severity.
- In drought years losses were reduced if part of the cultivated area was under winter wheat rather than all being under spring wheat, but the reverse was true for years approaching current normals.
- The impacts of long term warming would be more pronounced in the northern agricultural zone of Saskatchewan, with the result that the overall agroclimate and crop yields would become more homogeneous.
- Recommendations are made with respect to developing the analytical methods and tools and suggesting appropriate response policies.

2 INTRODUCTION

The International Institute of Applied Systems Analysis (IIASA) and United Nations Environment Programme (UNEP) climate impact project involved 76 authors in 17 countries. Their report, "The Impact of Climatic Variations on Agriculture" (1987) is in 2 volumes, the first dealing with cold-margins, the second with warmer semi-arid regions and mountainous areas in the tropics. Canada was selected as a case study representing a cold-margin climate, given its northern location and the sensitivity of its agricultural

industry to climatic fluctuations. The province of Saskatchewan in particular was selected because it is a major agricultural producer in Canada.

Within the context of the IIASA/UNEP climate impacts project, the objectives of this study were:

- (1) To illustrate the applicability of several models in the impact analysis of climatic changes or fluctuations on Saskatchewan agriculture;
- (2) To quantify the impacts of specified climatic changes or fluctuations; and
- (3) To consider some of the more appropriate policy responses which would reduce negative impacts and maximize the positive ones.

The study does not attempt to assess the relative probabilities of different climatic scenarios, but instead concentrates on demonstrating techniques for translating climatic scenario information into assessments of the associated impacts on agriculture. A hierarchy of models is used to estimate impacts at various levels: 'first-order' impacts on the agroclimatic environment and crop yields, and 'downstream' or 'second-order' effects of these yield changes on farm production, employment and the provincial economy. Results are intended to inform planners and policy makers of the implications for agriculture of the latest climatological research. The study illustrates applications of historical and potential CO₂ warming scenarios and outlines some of the important climate-related problems affecting Saskatchewan agriculture.

3 METHODOLOGY

3.1 Scenario Selection

Climatic scenarios were selected to reflect issues of particular concern in the region and to enable comparisons to other case studies in the IIASA/UNEP project to be made. These scenarios were constructed to represent future climates to test various methods of climatic impact assessment. Three broad types of scenarios were used: a single anomalous weather-year taken from the historical record, an extreme period of weather-years from historical records and a climate simulated using GISS (Goddard Institute for Space Studies) atmospheric general circulation model (GCM) results for 2 x CO₂. In order to provide a reference against which to compare results of analyses involving these scenarios, a standard climatic period based on the 30 year period, 1951 to 1980, was used and is referred to as HIST1 (the use of the term HIST in the following refers to the use of actual historical weather records). From the historical records 1961 (HIST2) was selected as the extreme weather year, 1929 to 1938 the extreme weather decade (HIST3), and 1933 to 1937 an extreme weather pentad (HIST4). Each was selected on the basis of drought severity and the substantive impact on crop yields, land degradation and the economy in Saskatchewan. All historical climate data were obtained from the Atmospheric Environment Service, Environment Canada.

Data generated by the GISS GCM model for the equilibrium $1 \times \text{CO}_2$ or 'control climate', (GISSE), and $2 \times \text{CO}_2$ (GISSC) climates were obtained from 9 grid points covering the agricultural area of Saskatchewan. Analysis of the GISSE data for Saskatchewan showed little resemblance to the present climate and as a result the actual GISS data could not be used in the study. To apply the GCM data it was assumed that the changes from GISSE to GISSC would correspond to the changes that could be expected for the climate of Saskatchewan with $2 \times \text{CO}_2$.

Subsequently, to derive a climatic scenario for $2 \times \text{CO}_2$, designated here as GISS1, temperature increments corresponding to a doubling of CO_2 obtained by subtracting GISSE from GISSC temperature data were applied to the 1951 to 80 historical HIST1 data. Precipitation data were generated by dividing GISSC by GISSE precipitation data and applying the derived ratios to the HIST1 data.

The GISS model results indicated general increases of precipitation in Saskatchewan accompanying the increases in temperature with CO_2 doubling. Historically, low precipitation and high temperatures have tended to occur in the same summers. Based on historical experience it was assumed that CO_2 warming might occur without being accompanied by increased precipitation. To facilitate analysis of this possibility GISS2, an alternative scenario, was used in which temperatures were increased (as with GISS1) but precipitation remained at the HIST1 level.

The GISS1 and GISS2 scenarios are simulations of average climates over a number of years, but for impact analyses involving frequencies, such averages are not applicable. For the drought frequency analyses, data for individual years from 1950-1982 (HIST5) were used with adjustments derived from the changes from GISSE to GISSC to obtain $2 \times \text{CO}_2$ scenarios. The resulting scenario incorporating both the temperature and precipitation changes is GISS3. The scenario for 1950-1982 year by year that reflects only the temperature changes is GISS4.

The scenarios used in this case study are summarized in Table 1. For both the historical and the GISS scenarios only temperature and precipitation were adjusted. All other climate data required by the impact models were held constant at the HIST1 normal level. Where maximum and minimum temperature data were required, it was assumed that both were affected equally. Potential benefits of direct effects of elevated CO_2 on plant photosynthetic capacity and moisture use efficiency were not considered in the biomass potential and the spring wheat model estimates since no consensus existed in the scientific community regarding the extent of the benefits. For the economic analysis, dollar values and technology were adjusted to represent conditions which existed in 1980.

3.2 Impact Models Used

Impact models were selected using the following criteria:

- (1) relevance to analysis of the impacts on Saskatchewan's agricultural productivity, the stability of the agroclimatic resource, or the conservation of the soil;
- (2) suitability of the model for the particular application. The model had to have demonstrated applicability to macroscale analysis, and sensitivity to changes in the variables being analysed; and
- (3) the capacity to provide information cheaply from readily available data.

Table 1: Scenarios and variables in the Saskatchewan case study

Scenario	Climatic variables
HIST1: 1951-80 normals	Tmax, Tmin, P, K, e, u
HIST2: 1961	Tmax, Tmin, P
HIST3: 1929-38 average	Tmax, Tmin, P
HIST4: 1933-37 year-by-year	Tmax, Tmin, P
HIST5: 1950-82 year-by-year	Tmax, Tmin, P
GISSE: GCM output for 1XCO2	Tmax, Tmin, P
GISSC: GCM output for 2XCO2	Tmax, Tmin, P
GISS1:	Tmax, Tmin, P adjusted from HIST1
GISS2:	Tmax, Tmin adjusted from HIST1
GISS3:	Tmax, Tmin, P adjusted from HIST5
GISS4:	Tmax, Tmin adjusted from HIST5

Tmax = maximum air temperature, Tmin = minimum air temperature, P = precipitation, K = incoming solar radiation, e = vapour pressure, u = windspeed. For all scenarios e and u were held constant at the HIST1 level and K at the period 1967-76.

For GISS1: $T = \text{GISSC} - \text{GISSE} + \text{HIST1}$ and $P = (\text{GISSC}/\text{GISSE}) * \text{HIST1}$; for GISS2: $T = \text{same as GISS1}$ and $P = \text{HIST1}$; for GISS3: $T = \text{GISSC} - \text{GISSE} + \text{HIST5}$ and $P = (\text{GISSC}/\text{GISSE}) * \text{HIST5}$; For GISS4: $T = \text{same as GISS3}$ and $P = \text{HIST5}$. $T = \text{Tmax, Tmin and Tmean (mean air temperature), respectively.}$

The various impact models and the scenarios to which they were applied are listed in Table 2. Broadly speaking the climate change would impact on the agroclimate, which would impact on crop yields and the mix of crops grown, which would impact on the economy. Various models were used to look at the potential changes in each of these areas. For example, heat and moisture models (degree day, precipitation effectiveness and Palmer Drought Index) were used to determine the impact on the provincial agroclimate. As well as changing the agroclimate, climate change could impact on the productivity of the land base by accelerating or decelerating soil degradation

processes. Wind erosion is a major component of Saskatchewan's climate-related soil degradation. A model adapted for calculating soil wind erosion potential was used in this study to look at implications of climate change for the land resource base.

The climatic changes implied in the scenarios selected would undoubtedly be followed by changes in the mix of crops that would be grown in Saskatchewan. This could result in overall crop productivity being maintained or increased even though yields of present crops decreased. A model developed by Turc and Lecerf (climatic index of agricultural potential) which estimates potential total dry matter biomass productivity, was selected to obtain information on the likely change in productivity without specifying a particular crop.

To investigate the implications for specific crops a crop growth model developed by Agriculture Canada was used to determine the impacts of climatic changes on spring wheat production. Economic implications of these changes on the provincial economy were then estimated using models developed by the Prairie Farm Rehabilitation Administration (PFRA). PFRA's models 'track' the impacts resulting from the changes in yields at the farm level through the entire agricultural sector at the regional and provincial levels. The subsequent effects on non agricultural sectors of the economy at the regional and provincial levels are also examined.

Table 2: Impact models and scenarios used in the Saskatchewan study

Model	Scenario										
	HIST					GISS					
	1	2	3	4	5	E	C	1	2	3	4
Growing degree-days	x	x	x			x	x	x			
Precipitation effectiveness	x	x	x					x	x		
Palmer Drought Index					x					x	x
Climatic index of agricultural potential	x	x	x					x	x		
Wind erosion potential	x	x	x					x	x		
Spring wheat yield	x	x		x				x	x		
Provincial agricultural economy	x	x		x				x	x		
Provincial employment	x	x		x				x	x		

3 RESULTS

Generalized results of the climatic impacts related to the various scenarios are presented in Table 3. In some instances a range of values is given, whereas, in others only a single value is given. Where a range is

given the figures represent the maximum and minimum annual values computed over the period of record used. Where individual values are given the period of record was treated as an average or one year and represents a long term average (i.e. a 30 year average).

Results suggest that without any fundamental change in climate Saskatchewan agriculture can expect an occasional year (HIST2) with moisture resources so reduced that crop production is only about 25% of normal, the potential for wind erosion is doubled, and losses to the agricultural economy exceed \$1.8 billion and 8000 jobs. Ripple effects in sectors other than agriculture translate into an additional provincial economic loss of \$1.6 billion and 17000 jobs. They also imply that in an extreme period of 5-10 consecutive years with warmer than normal growing seasons, moisture resources could be so sub-normal that biomass dry matter production could be reduced by nearly half and spring wheat production by about one-fifth. The impact of these climate changes on the economy would be a direct loss to the agriculture sector of about 2600 jobs annually and an economic loss of nearly \$600 million. This loss, resulting from effects on cereal crops alone, would have a further indirect effect on other sectors of the provincial economy causing an additional provincial GDP reduction of \$500 million and 5600 jobs.

With respect to the climate inferred for a $2 \times \text{CO}_2$ atmosphere, the results suggest that on a long-term basis there would be a substantial increase in thermal resources, modest increases in moisture resources (according to the precipitation effectiveness index results) and potential biomass productivity, modest decreases in the wind erosion potential and in spring wheat productivity, and losses to the agricultural industry of about 700 jobs and \$160 million annually. A further reduction in other sectors of the economy of about \$150 million in provincial GDP and 1500 jobs annually could also be expected.

The results of the drought analysis (in contrast to the precipitation effectiveness results) indicate that the increase in precipitation projected by the GISS model would not be enough to offset the increase in evapotranspiration caused by higher temperatures. The climate would apparently shift to a more drought prone regime, with an increase in length and frequency of droughts. Findings suggest the return period for what we would presently call a 'severe drought' would be only about half as long as it is now (Table 3).

The drought and spring wheat analyses both suggested that the greatest impacts of CO_2 related warming would be in the northern agricultural areas. Overall, the agroclimate and crop yields in Saskatchewan would become more homogeneous under a doubled CO_2 atmosphere than they are now. The spring wheat analysis further emphasized the need to distinguish between individual and consecutive drought years. In the economic analysis it was found that losses were considerably lower in drought years if the wheat crop mix was 10% winter wheat - 90% spring wheat compared to 100% spring wheat. In normal years however, it was found that producers would be better off economically if the entire crop was sown to spring wheat.

TABLE 3: Climatic impacts summarized for southern Saskatchewan in relation to normal (HIST1 OR HIST5)

	Scenario				
Model	HIST2	HIST3	GISS1	GISS2	
Degree Days	+10 to +18%	+3 to +16%	+48 to +53%	+48 to +53%	
Precipitation Effectiveness	-18 to -53%	-21 to -26%	+1 to +13%	-10 to -12%	
Biomass Potential	-53 to -100%	-26 to -60%	+1 to +30%	-19 to +3%	
Wind Erosion Potential	+123%	-	-14%	+26%	
	HIST2	HIST4	GISS1	GISS2	
Spring Wheat Production	-76%	-20%	-18%	-28%	
Expenditures by Agric. (million \$)	-\$1,810	-\$599	-\$163	-\$277	
Employment in Agriculture	-8,000	-2,647	-722	-1,224	
PALMER DROUGHT INDEX (PDI)					
	HIST5	FREQUENCIES GISS3	GISS4	RETURN PERIOD (YEARS) HIST5	GISS3
Severe Drought	0.1%	0.9%	10.8%	15 to 35	8.5 to 17.5
Drought	3.0%	9.1%	39.6%	6.5 to 10	4 to 6

For a climate changed by the warming inferred for $2 \times \text{CO}_2$ but not the precipitation increase (GISS2), results on a long-term average basis imply: modest reductions in moisture resources and biomass productivity, a moderate increase in wind erosion potential; a moderate reduction in spring wheat productivity; losses for the agricultural economy of about 1200 jobs and \$275 million annually; and an additional decrease to the provincial GDP in sectors other than agriculture of approximately \$250 million and 2600 jobs. A several-fold increase in drought frequency could be expected if the projected precipitation increase is not received (GISS4).

The results for GISS1 indicate that the biomass potential would increase while wheat production would be reduced. This is not unreasonable because the long term climate would have changed to the point where spring wheat would no longer be a well-adapted crop. A shift to a climatic regime with more frequent and severe droughts, as indicated by the results of the drought analysis, could accentuate problems with spring wheat production further with the variability in yields increasing from year-to-year. The results for GISS1 indicate that the more humid climate, as reflected in the higher precipitation effectiveness levels, would generally reduce the wind erosion potential. However, the accompanying increase in expected drought frequency and severity could increase the risk of serious wind erosion events. A shift to winter wheat, which leaves the ground covered during the erosion-prone spring period, could help to reduce wind erosion potential. For a change to a warmer climate without increased precipitation (GISS2), results suggest that wind erosion potential would increase significantly. The likely reduction in biomass productivity and increase in drought frequency would accentuate this, although the probable shift from spring wheat to winter wheat could help to limit wind erosion in spring.

4 RECOMMENDATIONS

The major problems in impacts research are that we don't really know how well the models work in assessing impacts, or whether any given scenario is a realistic representation of a probable future climate. Consequently, because of the nature of these problems a massive increase in the research effort directed at them is not likely to be very productive. It is felt that much more progress could be achieved by concentrating on improving the methods and making the whole process more objective.

Despite the inherent weaknesses in the methods used this study provides some tentative answers to "What if...?" questions about likely impacts on Saskatchewan agriculture of the particular historical and GCM-based scenarios considered. The results also demonstrate various methods that can be used for estimating the impacts associated with any new climatic scenarios that become available. Provided that the limitations of these methods are kept in mind and care is taken in interpreting the derived information they can, and should, be used to assist decision making in agricultural planning and policy formulation. Based on the results of this study fifteen recommendations are put forward as a basis for improving climatic impact analysis and policy consideration.

Recommendations for improving impact analysis include:

- (1) Highest priority should be given to undertaking work that integrates impacts assessment and climatic analysis.
- (2) Linkages among different impact models need to be developed.
- (3) Impact estimates should be made for a range of different crops and crop varieties.
- (4) The performance and sensitivity of various impact models should be examined and compared critically.
- (5) The study of soil degradation processes in the context of climatic impacts research should be substantially increased.
- (6) Tables showing various climatic change scenarios, impacts and associated probabilities should be assembled.
- (7) More detailed consideration of the temporal and spatial variation of impacts would be desirable.
- (8) Analogue areas should be sought that have present climates comparable to the study area scenario climate.

Recommendations for policy include:

- (9) High priority should be given to supporting research to assess the likely impacts of climatic changes and fluctuations on agriculture.
- (10) Agricultural policy formulation and planning should be carried out with a full awareness of the implications for agriculture of a changing climate.
- (11) Agencies involved in policy formulation and planning with respect to Saskatchewan agriculture should take the set of impact results for each of the scenarios in this case study and work out the policy package that might be appropriate under the circumstances.
- (12) Research into the combined impacts of the direct effects of increasing CO₂ on agriculture, and the climatic effects, should be supported.
- (13) Consideration should be given to whether the prospects for a major change in Saskatchewan's climate now seem likely enough to justify intensification of strategies to help agriculture make the best use of the agroclimatic resources.
- (14) Agricultural extension activities should be expanded to provide information required by producers to take advantage of beneficial climatic changes and minimize the impacts of detrimental ones.
- (15) Assessments of the costs and benefits to Saskatchewan agriculture of various responses to the climatic changes analyzed in this study should be undertaken.

ACKNOWLEDGEMENT

The authors would like to extend their thanks and appreciation to William J. Blackburn and Roger Street for reviewing this manuscript.



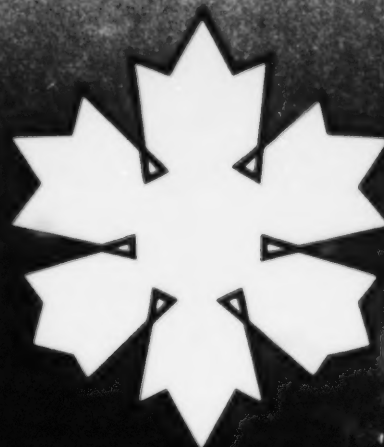
Environnement
Canada

Environment
Canada

**Evaluation des effets
du changement
climatique sur
l'agriculture en
Saskatchewan,
Canada**

SCC 88-06

Canada



SOMMAIRE DU CHANGEMENT CLIMATIQUE

- SCC 87-01 Programme canadien des incidences climatologiques
- SCC 87-02 Conséquences de changement climatique sur l'agriculture en Ontario
- SCC 87-03 Répercussions d'un changement de climat sur la navigation et la production d'électricité dans les Grands Lacs
- SCC 87-04 Effets d'une hausse d'un mètre du niveau moyen de la mer à Saint-Jean (Nouveau-Brunswick) et au passage inférieur du Saint-Jean
- SCC 88-01 Répercussions du changement climatique sur l'agriculture dans les Provinces des Prairies
- SCC 88-02 Étude préliminaire des effets éventuels d'une hausse d'un mètre du niveau de la mer à Charlottetown, dans l'Île-du-Prince-Édouard
- SCC 88-03 Répercussions d'un changement climatique sur l'industrie du ski alpin au Québec
- SCC 88-04 Perspectives économiques liées aux répercussions de la variabilité et du changement climatiques : Rapport sommaire
- SCC 88-05 Incidences du changement climatique sur le tourisme et les loisirs en Ontario
- SCC 88-06 Évaluation des effets du changement climatique sur l'agriculture en Saskatchewan, Canada

ÉVALUATION DES EFFETS DU CHANGEMENT CLIMATIQUE
SUR L'AGRICULTURE EN SASKATCHEWAN, CANADA

par

G.D.V. Williams, R.A. Fautley, K.H. Jones,
R.B. Stewart, E.E. Wheaton

Sommaire de l'étude de cas canadienne
publiée dans

"The Impact of Climatic Variations on Agriculture.

Volume 1. Assessments in Cool Temperate and Cold Regions".

M.L. Parry, T.R. Carter et N.T. Konijn (chefs de la publication) (1987)
Reidel, Dordrecht, Pays-Bas

Rédigé pour

la série des Sommaires du changement climatique
Service de l'environnement atmosphérique

par

R.B. Stewart, K.H. Jones, E.E. Wheaton et G.D.V. Williams

DÉNÉGATION DE RESPONSABILITÉ

La présente publication renferme le résumé des résultats d'un étude coordonné par l'IIASA (Institut International pour l'Analyse des Systèmes Appliquée), Environnement Canada apportant sa participation, Agriculture Canada et le Conseil des recherches de la Saskatchewan. Les avis et opinions qui y sont exprimés sont ceux des auteurs. Ils n'expriment, ni ne reflètent nécessairement ceux du gouvernement du Canada ou de tout organisme de celui-ci.

Pour obtenir à titre gracieux des exemplaires de cette publication, écrire au :

Bureau du programme climatologique
Centre climatologique canadien
4905 Rue Dufferin
Downsview (Ontario)
M3H 5T4
(416)739-4431

Pour acheter des exemplaires du rapport complet, "The Impact of Climatic Variations on Agriculture. Volume 1. Assessments in Cool Temperate and Cold Regions", écrire à :

Dr. R.B. Stewart
Service des sols et du climat
Direction générale du développement agricole
Agriculture Canada
Edifice Sir John Carling
Ottawa (Ontario)
K1A 0C5

Publié avec l'autorisation du
Ministre de l'Environnement

Ministre des Approvisionnements
et Services Canada 1988

No de catalogue EN57-27/1988-06
ISBN 0-662-55938-X
ISSN 0835-3980

AVANT-PROPOS

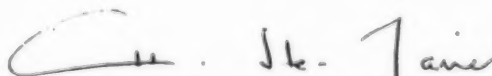
L'atmosphère terrestre subit de grands changements dans sa composition à l'échelle mondiale. Les activités humaines, comme le déboisement, l'utilisation des combustibles fossiles et, même, les opérations agricoles ont nettement accru la quantité de gaz carbonique et d'autres "gaz de serre" de l'atmosphère. Il est de mieux en mieux établi du point de vue scientifique que l'accroissement de la concentration de ces gaz pourrait entraîner, au cours des prochaines décennies, une augmentation de la température moyenne mondiale supérieure à toute autre augmentation survenue depuis l'arrivée de l'homme sur terre (cf. conférence de Villach, Autriche, octobre 1985). D'après les études, on pourrait s'attendre à un réchauffement mondial moyen de 1,5 à 4,5 °C; dans les régions arctiques, il est probable que ce réchauffement sera encore plus élevé.

Ces dernières années, on a de plus en plus pris conscience, à l'échelon international du fait que divers secteurs économiques sont tributaires des fluctuations climatiques et des répercussions du changement climatique à long terme. On appréhende la perte éventuelle de zones côtières due à la hausse mondiale prévue du niveau des mers, à la destruction des habitats d'innombrables espèces végétales et animales et à la perturbation de l'agriculture mondiale, pour ne citer que quelques sujets de préoccupation. Par la même occasion, le changement climatique offre éventuellement d'intéressantes possibilités économiques. Pour le Canada, celles-ci comprennent sans doute une prolongation de la saison de croissance et une navigation marchande active à longueur d'année sur les Grands lacs. L'élément clef d'une bonne adaptation à ces changements sera notre aptitude à atténuer les effets négatifs et à tirer parti des avantages.

Ayant reconnu l'effet du climat et des fluctuations climatiques sur la société, le Canada a, en 1978, établi un Programme climatologique canadien pour intégrer les efforts de divers organismes fédéraux et provinciaux, ainsi que des universités et du secteur privé, dans le domaine de la climatologie. On a confié la responsabilité du programme au Service de l'environnement atmosphérique (SEA), d'Environnement Canada. Ce service est donc l'organisme responsable en la matière. Depuis 1984, un des éléments du programme se concentre sur les études de recherche destinées à évaluer et à déterminer les effets sociaux et économiques éventuels du réchauffement climatique auquel on s'attend suivant un scénario où la concentration de gaz carbonique doublerait. La plupart de ces études furent menées en vertu de contrats par des universités canadiennes.

Ces études et d'autres études réalisées au cours des dernières années ont clairement montré que l'accroissement des concentrations de "gaz de serre" peut bel et bien exercer des effets profonds sur notre milieu physique, mais il faut encore en considérer les résultats comme préliminaires. Les scientifiques s'entendent assez bien sur l'évolution du changement climatique à long terme, mais il existe de l'incertitude dans les estimations de l'ampleur et des échéances.

Il va de soi qu'il faut d'autres études pour fournir des renseignements de planification et d'orientation à tous les paliers d'administration et aux usagers du secteur privé. Ces études aideraient encore à établir les stratégies éventuelles d'atténuation et d'adaptation et répondraient au thème d'Environnement Canada : "Prévoir pour prévenir."



G.A. Sainte-Marie
Sous-ministre
Environnement Canada

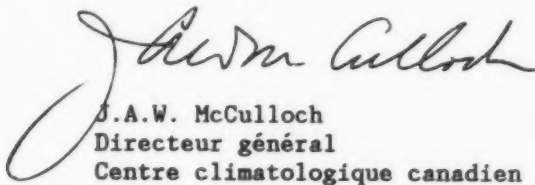


PRÉFACE

Le Centre climatologique canadien (CCC) a financé plusieurs études touchant les effets éventuels, sur divers secteurs de l'économie canadienne, du réchauffement du climat prévu du fait de la concentration croissante des "gaz de serre" dans l'atmosphère. On a retenu le cas d'une quantité deux fois plus importante de CO₂.

Le premier numéro du Sommaire du changement climatique indique les principales études de prospective socio-économique entreprises depuis 1984. La liste des titres antérieurs de la série figure au verso de la première page de couverture.

Le présent numéro donne les résultats sommaires d'une étude destinée à déterminer l'effet probable de trois scénarios pour représenter les climats futurs. Cette étude examine les effets de la variabilité et conclut que, sous le nouveau régime climatique, il y aura au cours de toute période de 20 à 30 années d'importants effets nocifs, attribuables en grande partie à une fréquence et à une gravité accrues des sécheresses.



J.A.W. McCulloch
Directeur général
Centre climatologique canadien



1 POINTS IMPORTANTS DE L'ÉTUDE

- Cette étude fait partie des cinq études de cas menées dans les régions tempérées fraîches et froides pour le programme de l'IIASA-PNUE qui vise à évaluer les effets du changement et de la variabilité climatiques sur la production alimentaire.
- Pour une année de sécheresse extrême en Saskatchewan, on prévoit une réduction de l'humidité que le potentiel d'érosion éolienne double, que la production de blé de printemps n'atteint environ que 25 % de la normale et que les pertes dépassent 1,8 milliard de dollars de 1980 et 8 000 emplois pour l'économie agricole. Il faut ajouter à cela des pertes de 1,6 milliards de dollars et 17 000 emplois pour les autres secteurs.
- On prévoit aussi des périodes occasionnelles de sécheresse d'une durée extrême de 5 ou 10 ans en Saskatchewan. La production de biomasse sèche est alors réduite de moitié environ et la production de blé de printemps d'environ un cinquième, les pertes pour l'agriculture s'élèvent à quelque 2 600 emplois et 0,6 milliard de dollars et on assiste à une réduction du PIB provincial de plus de 0,5 milliard de dollars et à une perte de 3 600 emplois dans les autres secteurs.
- Si un climat chaud s'établit à long terme, avec des augmentations de précipitations, sans aucune adaptation d'envergure pour l'agriculture, on peut alors prévoir une réduction du rendement du blé de 16 %, qui entraînerait des pertes annuelles pour l'agriculture de plus de 160 millions de dollars et de 700 années-personnes. Le potentiel d'érosion éolienne diminuerait peut-être, la productivité potentielle de biomasse augmenterait mais les sécheresses deviendraient plus fréquentes et plus marquées.
- L'apparition d'un climat chaud à long terme sans augmentation de précipitations aurait dans l'ensemble des effets négatifs intenses, particulièrement en conséquence de sécheresses plus fréquentes et plus marquées.
- Les années de sécheresse, les pertes sont réduites si une partie des terres cultivées est plantée de blé d'hiver et non plus seulement de blé de printemps. L'inverse est toutefois vrai, les années où les conditions approchent les normales actuelles.
- Les effets d'un réchauffement à long terme seraient plus marqués dans la zone agricole septentrionale de la Saskatchewan et, dans l'ensemble, l'agroclimat et le rendement des cultures deviendraient plus homogènes qu'à présent.
- Des recommandations sont proposées quant à la mise au point de méthodes et d'outils analytiques et à l'élaboration de lignes de conduite appropriées en réaction aux effets décrits.

2 INTRODUCTION

Le Programme d'étude des effets du climat lancé par l'Institut International pour l'Analyse des Systèmes Appliquée (IIASA) et le Programme des Nations Unies pour l'Environnement (PNUE) regroupe 76 auteurs de 17 pays. Le rapport intitulé "The Impact of Climatic Variations on Agriculture" (1987) se présente en 2 volumes, le premier portant sur les régions marginales froides et le second sur les régions plus chaudes semi-arides et les zones montagneuses des régions tropicales. En raison de son emplacement septentrional et de la sensibilité de son agriculture face aux fluctuations climatiques, le Canada a été choisi pour l'une des études de cas représentatives des régions marginales froides. C'est plus précisément la province de la Saskatchewan qui a été retenue puisque c'est l'un des grands producteurs agricoles du Canada.

Dans le cadre du programme d'étude des effets du climat lancé par l'IIASA et le PNUE, les objectifs de l'étude étaient les suivants :

- 1) Montrer l'applicabilité de plusieurs modèles à l'analyse des effets des changements ou des fluctuations climatiques sur l'agriculture de la Saskatchewan.
- 2) Quantifier les effets de changements ou de fluctuations climatiques bien définis.
- 3) Examiner certaines des lignes de conduite les plus appropriées, à poser en réaction au changement climatique, grâce auxquelles on réduirait les effets négatifs et tirerait le maximum des effets positifs.

Par cette étude, nous ne tentons nullement d'évaluer les probabilités relatives des divers scénarios climatiques; nous nous concentrons plutôt sur les techniques qui permettraient de traduire les données des scénarios climatiques en évaluations des effets associés sur l'agriculture. On utilise donc une hiérarchie de modèles pour évaluer les effets aux divers niveaux : effets de premier ordre sur l'environnement agroclimatique et sur le rendement des cultures et effets de deuxième ordre des changements de rendement sur la production agricole, l'emploi et l'économie de la province. Les résultats obtenus servent à informer les planificateurs et les dirigeants des incidences sur l'agriculture des recherches en climatologie les plus récentes. L'étude montre l'application de scénarios historiques et du réchauffement potentiel dû au CO₂ et donne un aperçu des grands problèmes liés au climat qui touchent l'agriculture en Saskatchewan.

3 MÉTHODOLOGIE

3.1 Choix des scénarios

Les scénarios climatiques choisis correspondent aux problèmes propres à la région et permettent la comparaison entre la présente étude et les autres études de cas menées dans le cadre du programme de l'IIASA et du PNUE. On a établi ces scénarios pour représenter les climats futurs, en vue d'éprouver

les diverses méthodes d'évaluation des effets climatiques. Les trois grands types de scénarios utilisés sont les suivants : une année présentant des anomalies météorologiques dans les relevés historiques, une période météorologique extrême de plusieurs années dans les relevés historiques et la simulation du climat obtenue à partir des résultats, pour le doublement du CO_2 , fournis par le modèle (GMC) de la circulation générale de l'atmosphère du GISS (Goddard Institute for Space Studies). On a aussi utilisé comme référence de comparaison pour les résultats des analyses sur les divers scénarios, une période climatique standard fondée sur la période de 30 ans, de 1951 à 1980. Aux fins de l'étude, cette référence porte le nom de HIST1 et l'on utilise l'abréviation HIST pour tous les éléments que l'on établit à partir des relevés météorologiques historiques réels. Dans les relevés historiques, on a choisi 1961 comme étant l'année de conditions météorologiques extrêmes (HIST2), la période de 1929 à 1938 comme étant la décennie de conditions météorologiques extrêmes (HIST3) et la période de 1933 à 1937 comme étant la pentade de conditions météorologiques extrêmes (HIST4). Ces périodes sont toutes choisies en fonction de la gravité de la sécheresse et en fonction des effets réels observés sur le rendement des cultures, sur la dégradation des terres et sur l'économie en Saskatchewan. Toutes les données climatologiques historiques proviennent du Service de l'Environnement Atmosphérique d'Environnement Canada.

Les données obtenues grâce au modèle (GCM) du GISS pour l'état d'équilibre, $1 \times \text{CO}_2$, soit le "climat témoin" (GISSE), et l'état de doublement, $2 \times \text{CO}_2$ (GISSC), se répartissent sur 9 points de grille qui correspondent à la région agricole de la Saskatchewan. Comme l'analyse des données du GISSE n'offraient que très peu de ressemblance avec le climat actuel, on n'a pas pu utiliser les données du GISS dans l'étude. En fait, pour appliquer les données du GCM, on a supposé que les changements observés entre le GISSE et le GISSC correspondaient aux changements que l'on peut prévoir pour le climat de la Saskatchewan en cas de doublement du CO_2 .

Par conséquent, afin d'obtenir un scénario climatique pour le doublement du CO_2 , que l'on a désigné ici par l'abréviation GISS1, on a appliqué aux données historiques HIST1 de 1951 à 1980 les augmentations de la température qui correspondent à un doublement du CO_2 et que l'on a obtenu en soustrayant les données du GISSE à celles du GISSC. Les données des précipitations ont été obtenues en divisant les données du GISSC par celles du GISSE et en appliquant les rapports obtenus aux données du HIST1.

Les résultats provenant du modèle du GISS montraient qu'en Saskatchewan une augmentation générale des précipitations accompagnait l'augmentation des températures en cas de doublement du CO_2 . Toutefois, selon l'expérience historique, les étés chauds tendent également à être secs. On en a donc déduit qu'un réchauffement dû au CO_2 pourrait ne pas s'accompagner d'une augmentation des précipitations et, afin de faciliter l'analyse de cette possibilité, on a utilisé un autre scénario, GISS2, dans lequel les températures augmentent, comme dans GISS1, mais les précipitations demeurent ce qu'elles sont dans HIST1.

Les scénarios GISS1 et GISS2 constituent des simulations de climat moyen sur un certain nombre d'années et de telles moyennes ne peuvent pas être utilisées pour une analyse d'incidences portant notamment sur les fréquences. Ainsi, pour les analyses de la fréquence des sécheresses, a-t-on utilisé les données pour chaque année de 1950 à 1982 (HIST5) que l'on a ajustées en fonction des changements observés entre GISSE et GISSC pour obtenir des scénarios de doublement du CO_2 . On a donc obtenu le scénario GISS3 comprenant les changements à la fois pour les températures et les précipitations et le scénario GISS4 ne comprenant que les changements pour la température, tous deux pour chaque année de 1950 à 1982.

Le tableau 1 fournit le sommaire des scénarios utilisés dans cette étude de cas. Que ce soit pour les scénarios historiques ou pour les scénarios du GISS, seules les températures et les précipitations ont été ajustées. Les données de tous les autres éléments climatologiques nécessaires au modèle d'analyse des effets sont demeurées constantes au niveau normal de HIST1. Lorsque l'on avait besoin de températures maximales et minimales, on a supposé que le changement était le même pour les deux éléments. En ce qui concerne les évaluations du modèle du potentiel de biomasse et de la production de blé de printemps, on n'a pas tenu compte des profits possibles à tirer des effets directs d'une augmentation du CO_2 sur la capacité photosynthétique des végétaux et sur l'efficacité de l'utilisation de l'humidité par les végétaux puisqu'il n'existe pas de consensus scientifique à ce sujet. Pour ce qui est de l'analyse économique, la valeur du dollar et la situation technologique ont été ajustées pour représenter les conditions qui existaient en 1980.

3.2 Modèles utilisés pour l'analyse des incidences

Pour l'analyse des effets, les modèles ont été choisis en fonction des critères suivants :

- 1) pertinence quant à l'analyse des effets sur la productivité agricole, la stabilité de la ressource agroclimatique ou la conservation du sol en Saskatchewan,
- 2) efficacité du modèle pour l'application voulue : démonstration de l'applicabilité du modèle à l'analyse à grande échelle et à la sensibilité aux changements pour les variables analysées,
- 3) capacité de fournir des renseignements à bas prix, à partir de données faciles à obtenir.

Tableau 1 : Scénarios et variables pour l'étude de cas de la Saskatchewan

Scénario	Variables climatiques
HIST1 : normales de 1951-1980	Tmax, Tmin, P, K, e, u
HIST2 : 1961	Tmax, Tmin, P
HIST3 : moyennes de 1929-1938	Tmax, Tmin, P
HIST4 : données annuelles de 1933 à 1937	Tmax, Tmin, P
HIST5 : données annuelles de 1950 à 1982	Tmax, Tmin, P
GISSE : sorties du GCM pour 1 x CO ₂	Tmax, Tmin, P
GISSC : sorties du GCM pour 2 x CO ₂	Tmax, Tmin, P
GISS1 :	Tmax, Tmin, P ajustée à partir de HIST1
GISS2 :	Tmax, Tmin ajustée à partir de HIST1
GISS3 :	Tmax, Tmin, P ajustée à partir de HIST5
GISS4 :	Tmax, Tmin ajustée à partir de HIST5

Tmax = température maximale de l'air, Tmin = température minimale de l'air, P = précipitations, K = rayonnement solaire descendant, e = tension de vapeur, u = vitesse du vent. Pour tous les scénarios, e et u demeurent constantes à leur valeur de HIST1 et K à celle pour la période de 1967 à 1976.

Pour GISS1 : $T = \text{GISSC} - \text{GISSE} + \text{HIST1}$ et $P = (\text{GISSC}/\text{GISSE}) * \text{HIST1}$; pour GISS2 : $T = \text{comme GISS1}$ et $P = \text{HIST1}$; pour GISS3 : $T = \text{GISSC} - \text{GISSE} + \text{HIST5}$ et $P = (\text{GISSC}/\text{GISSE}) * \text{HIST5}$; pour GISS4 : $T = \text{comme GISS3}$ et $P = \text{HIST5}$. T = Tmax, Tmin et Tmean (température moyenne de l'air), respectivement.

Les divers modèles d'analyse des incidences et les scénarios auxquels ils ont été appliqués figurent au tableau 2. En termes généraux, le changement climatique aurait des effets sur l'agroclimat qui aurait alors des effets sur le rendement des cultures et sur le mélange des cultures exploitées, ce qui entraînerait des retombées sur l'économie. On a utilisé divers modèles pour examiner les changements potentiels dans chacun de ces secteurs. Par exemple, les modèles de la température et de l'humidité (degrés-jours, efficacité des précipitations et indice de sécheresse Palmer) ont été utilisés pour déterminer les effets sur l'agroclimat provincial. Outre la modification de l'agroclimat, le changement du climat pourrait avoir des effets sur la productivité des terres arables, et ce, par l'accélération ou le ralentissement des processus de dégradation des sols. En Saskatchewan, l'érosion éolienne est un élément important de la dégradation des sols liée au climat. Dans la présente étude, on a utilisé un modèle adapté au calcul du potentiel de l'érosion éolienne des sols pour examiner les effets du changement climatique sur les terres arables.

Il ne fait aucun doute que les changements climatiques que proposent les scénarios choisis entraîneront la modification du mélange des cultures exploitées en Saskatchewan. On pourrait ainsi maintenir ou augmenter la productivité agricole globale malgré une diminution du rendement des cultures

actuelles. On a choisi d'utiliser un modèle mis au point par Turc et Lecerf (indice climatique du potentiel agricole), qui évalue la productivité potentielle totale de biomasse sèche, afin d'obtenir des données sur le changement probable de productivité sans précision de culture.

Afin d'étudier les incidences du changement climatique sur des cultures particulières, on a utilisé le modèle de croissance végétale mis au point par Agriculture Canada et l'on a pu ainsi déterminer les effets du changement climatique sur la production du blé de printemps. Les incidences de ces changements sur l'économie provinciale ont été ensuite évaluées à l'aide de modèles mis au point par l'Administration du rétablissement agricole des Prairies (ARAP). Les modèles de l'ARAP suivent les incidences des changements de rendement sur les exploitations agricoles dans tout le secteur agricole aux échelons régional et provincial. Les effets subséquents sur les secteurs non agricoles de l'économie aux échelons régional et provincial sont également examinés.

Tableau 2 : Modèles d'analyse des effets et scénarios utilisés dans l'étude de la Saskatchewan

Modèle	Scénario									
	HIST					GISS				
	1	2	3	4	5	E	C	1	2	3 4
Degrés-jours de croissance	x	x	x			x	x	x		
Efficacité des précipitations	x	x	x					x	x	
Indice de sécheresse Palmer					x					x x
Indice climatique du potentiel agricole	x	x	x					x	x	
Potentiel de l'érosion éolienne	x	x	x					x	x	
Rendement du blé de printemps	x	x		x				x	x	
Économie agricole de la province	x	x		x				x	x	
Emploi dans la province	x	x		x				x	x	

3 RÉSULTATS

Le tableau 3 fournit les résultats généraux des incidences climatiques liées aux divers scénarios. Dans certains cas, on donne une gamme de valeurs tandis que dans d'autres une seule valeur est fournie. Lorsqu'il s'agit d'une gamme, les chiffres représentent les valeurs annuelles maximales et minimales calculées pour la période de relevés utilisée. S'il n'y a qu'une valeur, la période de relevés correspond à une moyenne ou à un an et les chiffres représentent la moyenne sur une longue durée (moyenne sur 30 ans).

Selon les résultats, sans aucun changement fondamental du climat, le secteur de l'agriculture en Saskatchewan connaît à l'occasion une année (HIST2) où la réduction de l'humidité est telle que la production agricole ne s'élève qu'à environ 25 % de la normale, que le potentiel de l'érosion éolienne double et que les pertes pour l'économie agricole dépassent 1,8 milliard de dollars et 8 000 emplois. Les retombées sur les secteurs autres que l'agriculture se traduisent par une perte supplémentaire pour l'économie de la province de 1,6 milliard de dollars et 17 000 emplois. En outre, si la Saskatchewan connaît une période extrême de 5 à 10 années consécutives où les saisons de croissance sont plus chaudes que la normale, l'humidité pourrait être tellement inférieure à la normale que la production de biomasse sèche serait réduite de moitié environ et que la production de blé de printemps le serait d'environ un cinquième. L'incidence de ces changements climatiques sur l'économie agricole serait une perte directe d'environ 2 600 emplois par an et de près de 600 millions de dollars. Cette perte, entraînée par les effets sur les cultures céréalières seulement, aurait en outre des retombées sur d'autres secteurs de l'économie provinciale et se traduirait par une réduction supplémentaire de 500 millions de dollars pour le PIB provincial et par la disparition de 5 600 emplois.

Dans le cas du climat qu'entraînerait un doublement du CO₂ dans l'atmosphère, les résultats montrent qu'à long terme il y aurait une augmentation importante des ressources thermiques, une augmentation modérée de l'humidité (selon les résultats de l'indice d'efficacité des précipitations) et de la productivité potentielle de biomasse, une réduction modérée du potentiel d'érosion éolienne et de la productivité du blé de printemps, et, enfin, des pertes pour l'agriculture d'environ 700 emplois et 160 millions de dollars par an. On assisterait en outre dans d'autres secteurs de l'économie à une réduction du PIB provincial d'environ 150 millions de dollars et à une perte de 1 500 emplois par an.

Les résultats de l'analyse des sécheresses (par opposition à ceux obtenus grâce à l'indice d'efficacité des précipitations) indiquent que l'augmentation des précipitations prévue par le modèle du GISS ne serait pas suffisante pour neutraliser l'augmentation de l'évapotranspiration causée par l'augmentation des températures. Le climat tendrait apparemment vers un régime plus enclin à la sécheresse, c'est-à-dire où les sécheresses seraient longues et fréquentes. La période de retour de ce que nous appelons à présent une sécheresse grave serait inférieure de moitié à ce qu'elle est à présent (tableau 3).

Les analyses des sécheresses et de la production de blé de printemps laissent entrevoir que les effets les plus importants du réchauffement lié au CO₂ seraient ressentis dans les régions agricoles du nord. Dans l'ensemble, en cas de doublement du CO₂, l'agroclimat et le rendement des cultures en Saskatchewan deviendraient plus homogènes qu'ils ne le sont à présent. L'analyse de la production de blé de printemps souligne en outre le besoin de distinction entre les sécheresses d'un an et les sécheresses qui se prolongent pendant plusieurs années. Dans l'analyse économique, on a constaté que les pertes étaient considérablement moindres les années de sécheresse si l'on plantait 10 % de blé d'hiver et 90 % de blé de printemps.

TABLEAU 3 : Incidences climatiques résumées pour le sud de la Saskatchewan, par rapport à la normale (HIST1 ou HIST5)

Modèle	Scénario			
	HIST2	HIST3	GISS1	GISS2
Degrés-jours	de +10 à +18%	de +3 à +16%	de +48 à +53%	de +48 à +53%
Efficacité des précipitations	de -18 à -53%	de -21 à -26%	de +1 à +13%	de -10 à -12%
Potentiel de biomasse	de -53 à -100%	de -26 à -60%	de +1 à +30%	de -19 à +3%
Potentiel de l'érosion éolienne	+123%	-	-14%	+26%
	HIST2	HIST4	GISS1	GISS2
Production de blé de printemps	-76%	-20%	-18%	-28%
Dépenses agricoles (millions de dollars)	- 1 810	-599	-163	-277 \$
Emploi dans l'agriculture	- 8 000	- 2 647	-722	- 1 224

	INDICE DE SÉCHERESSE DE PALMER				
	FRÉQUENCE			PÉRIODE DE RETOUR (ANNÉES)	
	HIST5	GISS3	GISS4	HIST5	GISS3
Sécheresse grave	0,1 %	0,9 %	10,8 %	de 15 à 35	de 8,5 à 17,5
Sécheresse	3,0 %	9,1 %	39,6 %	de 6,5 à 10	de 4 à 6

au lieu de 100 % de blé de printemps. Toutefois, les années où les conditions sont normales, on a constaté qu'il valait mieux semer uniquement du blé de printemps.

Dans le cas d'un réchauffement climatique dû au doublement du CO₂ sans augmentation des précipitations (GISS2), les résultats montrent pour les moyennes à long terme des réductions modérées de l'humidité et de la productivité de biomasse, une augmentation modérée du potentiel d'érosion éolienne, une réduction modérée de la productivité du blé de printemps, des pertes pour l'économie agricole d'environ 1 200 emplois et 275 millions de dollars par an et, en outre, une diminution du PIB provincial dans les autres secteurs qui équivaut à la perte d'environ 250 millions de dollars et de 2 600 emplois. On peut s'attendre à une augmentation très importante de la fréquence des sécheresses si l'augmentation prévue des précipitations ne se produit pas (GISS4).

Les résultats obtenus pour GISS1 indiquent que le potentiel de biomasse augmenterait tandis que la production de blé diminuerait. Cette conclusion n'est pas illogique puisque le changement du climat à long terme atteindrait un point où le blé de printemps ne serait plus une culture bien adaptée. L'apparition d'un régime climatique comprenant des sécheresses fréquentes et marquées, comme l'indiquent les résultats de l'analyse des sécheresses, risquerait d'accentuer encore les problèmes liés à la production de blé de printemps, la variabilité du rendement augmentant d'année en année. Les résultats pour le GISS1 indiquent que le climat plus humide, auquel correspondent les degrés d'efficacité de précipitation les plus élevés, entraînerait dans l'ensemble une diminution du potentiel d'érosion éolienne. Toutefois, l'augmentation simultanée de la fréquence et de la gravité des sécheresses pourrait entraîner le risque de périodes d'érosion éolienne importantes. Remplacer les cultures par du blé d'hiver pourrait permettre de réduire le potentiel d'érosion éolienne puisque le sol serait couvert au printemps, saison où les phénomènes d'érosion sont les plus fréquents. Dans le cas d'un réchauffement du climat sans augmentation des précipitations (GISS2), les résultats suggèrent que le potentiel d'érosion éolienne augmenterait de façon importante. Ce phénomène serait accentué par la réduction probable de la productivité de biomasse et l'augmentation probable de la fréquence des sécheresses. Toutefois là encore, remplacer le blé de printemps par du blé d'hiver permettrait de diminuer l'érosion éolienne au printemps.

4 RECOMMANDATIONS

La recherche des incidences comporte de grands problèmes : nous ne savons pas réellement dans quelle mesure les modèles réussissent à évaluer les incidences ni si les scénarios sont une représentation réaliste du climat futur. Par conséquent, en raison de la nature même de ces problèmes, il est peu probable selon nous qu'une nette accentuation des efforts de recherche en vue de résoudre ces problèmes soit très productive. Nous croyons que l'on pourrait faire bien plus de progrès en concentrant les efforts sur l'amélioration des méthodes et sur le gain d'objectivité dans l'ensemble du processus.

Malgré les faiblesses inhérentes aux méthodes utilisées, la présente étude essaie de fournir quelques réponses aux questions que l'on peut se poser sur les incidences probables sur l'agriculture de la Saskatchewan des scénarios historiques et basés sur le GCM, que l'on a utilisés. Les résultats montrent aussi diverses méthodes dont on peut se servir pour évaluer les incidences associées à n'importe quel autre scénario climatique. A condition de ne pas oublier leurs limites propres et de prendre des précautions dans l'interprétation des renseignements dérivés, lesdites méthodes peuvent et doivent être utilisées pour appuyer les décisions prises dans le domaine de la planification et de l'établissement des lignes de conduite pour le secteur de l'agriculture. En fonction des résultats obtenus, nous présentons 15 recommandations pour l'amélioration de l'analyse des incidences climatiques et l'élaboration des lignes de conduite.

Recommandations visant à améliorer l'analyse des incidences climatiques :

- 1) On doit donner la priorité aux travaux qui intègrent l'évaluation des incidences et l'analyse du climat.
- 2) On doit mettre au point des relations entre les divers modèles d'incidences.
- 3) On doit évaluer les incidences pour toute une gamme de variétés de cultures.
- 4) On doit examiner et comparer d'un oeil critique le rendement et la sensibilité des divers modèles d'incidences.
- 5) On doit nettement élargir l'étude des processus de dégradation des sols pour la recherche sur les incidences climatiques.
- 6) On doit établir des tableaux qui présentent les divers scénarios du changement climatique, les incidences et les probabilités associées.
- 7) On doit examiner plus en détail les variations temporelles et spatiales des incidences.
- 8) On doit rechercher des régions analogues dont les climats actuels sont comparables aux climats présentés par les scénarios pour la région étudiée.

Recommandations pour l'élaboration de lignes de conduite :

- 9) On doit donner une place importante à l'appui à la recherche pour évaluer les incidences probables des changements et des fluctuations climatiques sur l'agriculture.
- 10) Dans l'élaboration des lignes de conduite et la planification du secteur agricole, on ne doit pas ignorer les incidences du changement climatique sur l'agriculture.
- 11) Les organismes qui élaborent les lignes de conduite et qui sont chargés de la planification dans le secteur agricole en Saskatchewan devraient s'exercer à établir, à partir de l'ensemble des incidences obtenues pour chaque scénario de l'étude de cas, un ensemble de lignes de conduite convenant aux circonstances.
- 12) On doit appuyer la recherche sur les incidences combinées des effets directs de l'augmentation du CO₂ sur l'agriculture et des effets climatiques.

- 13) On doit se demander si les perspectives d'un grand changement du climat de la Saskatchewan semblent à présent suffisamment probables pour justifier une intensification des stratégies qui visent à aider l'agriculture à tirer le meilleur parti des ressources agroclimatiques.
- 14) On doit élargir les services de vulgarisation agricole afin de fournir aux producteurs les renseignements dont ils ont besoin pour tirer profit des changements climatiques bénéfiques et pour minimiser les incidences des changements néfastes.
- 15) On doit évaluer les coûts et les avantages, pour le secteur de l'agriculture en Saskatchewan, des diverses réactions aux changements climatiques analysées dans cette étude.

REMERCIEMENTS

Les auteurs désirent faire part de leurs remerciements et de leur reconnaissance à William J. Blackburn et Roger Street qui ont bien voulu réviser le présent manuscrit.